

産業間プロセスリンク技術による副生成物の削減に関する研究

著者	上杉 浩之
号	2048
発行年	2002
URL	http://hdl.handle.net/10097/10855

氏 名	うえすぎ ひろし 上 杉 浩 之
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成15年2月12日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項
最 終 学 歴	昭和40年3月 大阪大学工学部冶金学科卒業
学 位 論 文 題 目	産業間プロセスリンク技術による副生成物の削減
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 中村 崇 東北大学教授 千田 信 東北大学教授 長坂徹也

論 文 内 容 要 旨

第1章 序論

産業革命以降の人類活動は、それまでの人文科学よりも自然科学の分野に軸足を置いた研究がなされるようになり、経済性を重視した、人間の欲望を満たすための研究・開発に重点が置かれてきた。つまり、人間社会の効率性、利便性、快適性を追い求めるために、あらゆる地球資源が投入されてきた。その結果、オゾン層の破壊、異常気象そして温暖化が確実に進行してきたことにより、もはや地球の有限性を受け入れざるを得なくなってきた。

最近の我が国においては、世界に先駆けて、2001年に「循環型社会基本法」が制定され、その具体策として、各種リサイクル法が順次整備されつつある。この循環型社会を経済的に継続して構築していく方策としてつぎの3点が提起される。

- (1) 資源の有限性に関しては資源生産性をキーファクターとして、それを指標とする生産部門での技術開発。
- (2) 資源循環型経済社会を支えるリサイクル製品とバージン製品の価格体系の構築。つまり、
 - ①資源価値へのエコロジカル・リユクサック概念
 - ②製品価値への再生・廃棄処理コスト内部化概念
 の両概念を導入することにより、

バージン製品の価格 \geq リサイクル製品の価格

 の関係が成立するような技術開発、社会制度の導入、システム化。
- (3) 生産、生活形態を「物を所有してその機能の活用から、物の機能を利用する」社会システムの構築。

「資源生産性の向上技術開発」、「整合性のあるリサイクル製品・バージン製品の価格体系の構築と技術開発」、「マテリアル・リース社会システムの構築と、それを実現可能とするライフスタイルの普及」等を地域社会から国家そして世界へと、つまり地球的規模の変革に繋がらない限り、人類が永続的に生存可能な地球環境にはならないであろう。

本論文は足が地に着いた活動を目指しており、前半は筆者が所属している産業界の資源循環化の一環として、「TEMCOS 構想 (Total Energy and Materials Control System)」および「IMS 構想 (Inverse Manufacturing System)」に含まれる産業間プロセスリンク技術の開発とその実用化を目指した活動を、後半は産業間技術を活用した地域と融合する産業・民生間のプロセスリンク技術、とりわけ一般廃棄物の資源化技術の開発へと展開している。その活動は現在も続けており、この論文は直近の 7 年間にわたって進めた技術開発と実用化に関して纏めたものである。

第 2 章 洗浄用薬剤フッ硝酸のカスケード利用技術

半導体産業で使用されている洗浄用薬剤「フッ硝酸」を分別・管理して品質を保証することにより、鉄鋼産業のステンレス鋼板の酸洗剤としてカスケード利用する技術を開発し実用化した。このカスケード利用による LCA 評価は、半導体産業からの副生「フッ硝酸 (フッ酸 23.3%、硝酸 16.6%)」10 トンをステンレス鋼板の酸洗剤として活用した時、①エネルギー消費量は重油換算で約 4.0 トンの削減 ②炭酸ガス排出量は約 4.3 トンの削減 ③スラッジは約 24.8 トン削減されることが判明した。このように、カスケード活用は新たに付加するエネルギーが比較的少ないため、大きな環境改善効果が得られる。現在、本活動の全国への普及を進めており、半導体産業のフッ硝酸が全量鉄鋼産業で受け入れた時の効果は、エネルギーは原油換算で 3 千トン、炭酸ガスも 3 千トン、中和スラッジは 19 千トン各々年間で削減される。

第 3 章 ステンレス酸洗剤の完全リサイクルプロセス技術

本研究は湿式精錬技術に優れている非鉄精錬技術と鉄鋼製造技術をプロセスリンクした開発である。ステンレス鋼板酸洗剤の完全リサイクルプロセスの開発を進めており、ベンチプラントレベルでの実験で成功を収めている。本技術の特徴は、これまでのフッ素を蛍石として回収し、フッ酸の原料ないし製鋼用造滓材として利用することに対して、更に一步進めて、直接フッ酸の回収まで行なう技術開発を進めたことにある。この技術的な飛躍の背景には、電気透析法におけるバイポーラ技術の進歩によるところが大きい。

今後、これを実用化レベルまで高めるには、回収されたフッ酸、硝酸の濃度を高める技術、特にフッ酸の濃縮技術の開発が必須と考えられ、現在、研究を進めている。また、本技術を実用化した時の国内ステンレス工場から排出される中和スラッジの削減量は、年間約 50 千トンと見積もられる。

第 4 章 未利用タンクスラッジからのエネルギー回収技術

石油精製産業や石油製品を貯蔵している企業のタンク底部に堆積したタンクスラッジを、これまで野焼きないし焼却処分していたものを固形燃料として有効に活用する技術を開発した。現在、水島コンビナートの廃棄物を資源化するに当たり、エネルギー源として活用すべく建設を計画している。固形燃料化の手段としては、タンクスラッジと馴染み性のある副生成物 (RDF 炭化物、微粉コークス等) や廃棄物 (無機汚泥等) を見出し、バインダーを使用せずに搬送・貯蔵可能な固形燃料に加工したことにある。更に、燃焼特性を把握するため燃焼計算、燃焼平衡ガス組成を求めて、小型実験炉との整合性を見出した。また、本技術を実用化した時の副生成物および廃棄物の削減量は、年間約 3.7 千トンと見積もられる。

第 5 章 混合廃プラスチックの効率的な脱塩素技術

容器包装リサイクル法の対象である一般廃プラスチックは、塩ビを含む混合廃プラスチックであり、塩ビ中の塩素により全体としての塩素含有量は 2～5% 含まれる。この塩素は溶媒を用いることにより効率よく廃プラスチックから除去し、塩酸として回収する技術を開発した。

本技術によると、膨潤・溶融温度を 280～300℃に精度良く管理できるため、プラスチックの熱分

解が抑制され、脱塩素樹脂の回収率が高い。また、塩素は塩酸として回収し、金属等の異物も容易に分離・回収されるため、リサイクル率は非常に高い実績が得られている。今後、廃プラスチックの集荷回収体制が整えば実用機の建設を行う計画である。

本技術を容器・包装リサイクル法対象（年間 4,500 千トン）の一般廃棄物から塩ビを分別した残留プラスチックを処理するとした時、廃プラスチックの削減量は年間 1,350 千トンと推定される。

第6章 RDF 炭化技術による吸着特性の優れた炭材の開発

RDF の資源化・用途拡大を目指した開発である。適正な温度条件で RDF を炭化することにより、吸着特性の優れた炭化物に転換できることを見出した。吸着機構としては、吸着・捕集量は気孔率に依存するのではなく、BET 比表面積と正の相関があることを見出した。更に、吸着・捕集には微粒子径の 1 オーダー大きい $1\sim 10\mu\text{m}$ の細孔径が効果的に作用することが判明した。現在、この RDF 炭化材の吸着・捕集性能を活用した各種吸着剤、土壌改良剤として実用化実験を実施中である。

本技術を全国の RDF に炭化処理を施し、炭化物の半量を製鉄所で炭材として有効活用したときの RDF の削減は、年間 382 千トンと試算される。

第7章 インバース・サプライ・チェーン技術による循環型社会システムの一考察

製品産業が主体となって進めている「インバース・マニュファクチャリング・システム」の構築に関する検討のうち、「インバース・サプライ・チェーンシステム」について、調査、検討を行った。

インバース・サプライ・チェーンをシステム化ないし導入を計画しているレンズ付きフィルム、複写機、コンピュータ、自動車、家庭電器製品等の 10 製品について、システムの目的、目標、特徴、内容等を調査した。その結果、循環サプライチェーンの形態は製品の種類、製品の寿命、市場、企業理念等により、クローズかオープン、リユースかリサイクル、専用ルートか市場ルートに分類される。

循環サプライチェーンを促進していくための回収から製品・部品へのリユース、再生素材へのホリゾンタルリサイクル、カスケードリサイクルへの各段階での要因を明確にした。そして、今後の課題として「回収システム」、「製品・部品の再利用システム」、「再資源化システム」ならびに「環境関連法案の整備を含めた社会的仕組み」等の総合的な取り組みの重要性を提案した。

第8章 総括

本論文は「環境調和型資源循環社会システム構築」の一助として、「産業間プロセスリンク技術」の必要性を第2章から第4章にかけて、さらに「産業・民生間プロセスリンク技術」の必要性を第5、6章に、各々の実用化への取り組みを実例でもって示したものである。そして第7章にはこれらのプロセスリンク技術がより確実に、経済的に実行されるシステムとして、インバース・サプライ・チェーンシステムの構築を提案した。

ここで、第2章から第6章にかけて開発した技術が、全国で適用されたときの副生成物、廃棄物の削減量を集計すると年間で約 180 万トンに達すると推定される。

最後に昨今の世界的な規模での産業競争は、グローバル化と共によりシャープな経営力「選択と集中」が積極的に導入されており、各産業界においてさらに狭い技術分野で鎬を削っている。生き残りをかけたこの経営行動はやむを得ないとしても、更に大きなニーズである「環境・資源」の課題は置き去りにされやすい。ここに、産業間プロセスリンク技術を研究し、産業間の溝を埋め地域を含めた産業融合化技術の開発の重要性がクローズアップされる所以である。

論文提出者氏名	上杉 浩之
論文題目	産業間プロセスリンク技術による副生成物の削減
論文審査及び 学力確認担当者	主査 教授 中村 崇 教授 千田 侑 教授 長坂徹也
<p style="text-align: center;">論文審査結果の要旨</p> <p>最近の我が国においては、2001年に「循環型社会基本法」が制定され、その具体策として、各種リサイクル法が順次整備されつつある。この循環型社会を経済的に継続して構築していく方策の基本概念であるプロセス間リンクを実行するための技術開発を行い、その結果として廃棄物の大幅な削減が可能であることを示した。</p> <p>第一章は、序論であり、プロセス間リンクの考え方ならびにその重要性を明らかにし、論文の位置付けを行っている。</p> <p>第二章は、半導体産業で使用されている洗浄用薬剤「フッ硝酸」を分別・管理して品質を保証することにより、鉄鋼産業のステンレス鋼板の酸洗剤としてカスケード利用する技術を開発し実用化した。このカスケード利用によるLCA評価を行い、半導体産業からの副生「フッ硝酸（フッ酸 23.3%、硝酸 16.6%）」10 トンをステンレス鋼板の酸洗剤として活用した時、①エネルギー消費量は重油換算で約 4.0 トンの削減 ②炭酸ガス排出量は約 4.3 トンの削減 ③スラッジは約 24.8 トン削減されることが判明した。</p> <p>第三章は、湿式精錬技術に優れている非鉄精錬技術と鉄鋼製造技術をプロセスリンクした開発である。本技術の特徴は、これまでのフッ素を蛍石として回収し、フッ酸の原料ないし製鋼用造滓材として利用することに対して、更に一歩進めて、電気透析法におけるバイポーラ技術を用い直接フッ酸の回収まで行なう技術開発を進めたことにある。</p> <p>第四章は、石油精製産業や石油製品を貯蔵している企業のタンク底部に堆積したタンクスラッジを、これまで野焼きないし焼却処分していたものを固形燃料として有効に活用する技術を開発した。固形燃料化の手段としては、タンクスラッジと馴染み性のある副生成物（RDF炭化物、微粉コークス等）や廃棄物（無機汚泥等）を見出し、バインダーを使用せずに搬送・貯蔵可能な固形燃料に加工した。その燃焼特性を把握するため燃焼計算、燃焼平衡ガス組成を求めて、小型実験炉との整合性を見出した。</p> <p>第五章は、塩ビを含む混合廃プラスチックである一般廃プラスチックから溶媒を用いて効率よく廃プラスチックから除去し、塩酸として回収する技術を開発した。</p> <p>第六章は、RDFの資源化・用途拡大を目指し、適正な温度条件でRDFを炭化することにより、吸着特性の優れた炭化物に転換できることを見出した。吸着機構としては、吸着・捕集量は気孔率に依存するのではなく、BET比表面積と正の相関があることを明らかにした。</p> <p>第七章は、循環サプライチェーンを促進していくための回収から製品・部品へのリユース、再生素材への水平リサイクル、カスケードリサイクルへの各段階での要因を明確にした。</p> <p>第八章は、全体のまとめを行い、今回開発した技術を全国で適用されたときの副生成物、廃棄物の削減量を集計すると年間で約 180 万トンに達すると推定されることを示した。</p> <p>以上、プロセス間リンクの手法を使い、副生成物を効率よく資源化する手法を具体的に示し、循環型社会の構築に大きく貢献した。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。</p>	
<p style="text-align: center;">学力確認結果の要旨</p> <p>平成 14 年 12 月 18 日、審査委員ならびに関係教官出席のもとに、学力確認のための試問を行った結果、本人は地球工学に関する十分な学力と研究指導能力を有することを確認した。</p> <p>なお、英学術論文に対する理解力から見て、外国語に対する学力も十分であることを認めた。</p>	